



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

GALVANICKÉ ZINKOVÁNÍ

GALVANIC ZINC COATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN HAMAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Hamal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Galvanické zinkování

v anglickém jazyce:

Galvanic zinc coating

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce bude provést literární studii technologie galvanického zinkování

Cíle bakalářské práce:

1. Literární studie dané problematiky
2. Interaktivní zpracování nastudované látky

Seznam odborné literatury:

MOHYLA, Miroslav. Technologie povrchových úprav kovů. Vyd. 2. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Strojní fakulta, 2000, 150 s. ISBN 80-707-8953-0

KMICHNA, Štefan - NOVÁ, Iva. Technologie a zpracování kovových materiálů. - 1. - Prešov : ADIN, 2008.

ISBN 978-80-89244-38. 326 s.

RAUS, V.: Povrchy a jejich úpravy, ZCU Plzeň 2000

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 20.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

HAMAL Jan: Galvanické zinkování.

Cílem této práce je rozbor a popis galvanického zinkování a na operace a technologie při něm užívané. V úvodu této práce je rozebrán princip koroze. Velká část této práce se zabývá fyzikálně-chemickými procesy probíhajícími na povrchu povlakované součásti. Důraz je kladen na volbu vhodné technologie pro zinkové povlakování. Závěr práce rozebírá defekty galvanicky vyloučené zinkové vrstvy.

Klíčová slova: galvanické zinkování, zinkové povlaky, korozní odolnost, koroze.

ABSTRACT

HAMAL Jan: Galvanic zinc coating.

This thesis is based on analysing and description of galvanic zinc coating, operations and technologies used in them. The first part contains an analysis of corrosion and is aimed on physical-chemical process which takes place on the surface of coated part. The thesis also emphasize the choice of technology for zing coating and in conclusion analyzes defections in galvanic zinc layer.

Keywords: galvanic zinc coating, zinc coatings, corrosion resistance, corrosion.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAMAL, Jan. *Galvanické zinkování*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 36 s. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 30.5.2014

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Ladislavu Žákovi za vedení, cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále mým rodičům za psychickou a studijní podporu. V neposlední řadě bych rád poděkoval společnosti OSTROJ a.s. za spolupráci při vypracování této práce.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 7 |
| 1 GALVANICKÉ ZINKOVÁNÍ – PŘEHLED SOUČASNÉHO POZNÁNÍ..... | 8 |
| 1.1 Koroze..... | 8 |
| 1.1.1 Chemická koroze..... | 8 |
| 1.1.2 Elektrochemická koroze | 8 |
| 1.1.3 Korozní prostředí | 9 |
| 1.2 Historie galvanických procesů | 10 |
| 1.3 Výhody a nevýhody galvanického zinkování ,..... | 10 |
| 1.4 Galvanické povlakování | 11 |
| 1.4.1 Řada potenciálů kovů a přepětí vodíku | 12 |
| 1.4.2 Faradayovi zákony | 12 |
| 1.4.3 Proudový výtěžek..... | 13 |
| 1.4.4 Polarizace elektrod | 14 |
| 1.4.5 Svorkové napětí a hloubková účinnost..... | 14 |
| 1.5 Krystalická stavba povlaků | 15 |
| 2 PŘÍPRAVNÉ OPERACE A TYPY LÁZNÍ | 17 |
| 2.1 Přípravné operace | 17 |
| 2.1.1 Mechanické úpravy povrchu | 17 |
| 2.1.2 Chemické úpravy povrchu | 18 |
| 2.2 Typy lázní | 20 |
| 2.2.1 Alkalické kyanidové lázně | 21 |
| 2.2.2 Alkalické bezkyanidové lázně..... | 21 |
| 2.2.3 Kyselé lázně | 22 |
| 2.2.4 Slabě kyselé lázně | 22 |
| 2.2.5 Hullova zkouška..... | 23 |
| 3 TECHNOLOGIE GALVANICKÉHO ZINKOVÁNÍ | 24 |
| 3.1 Hrubé odmaštění | 24 |
| 3.2 Moření | 25 |
| 3.3 Elektrolytické odmaštění..... | 26 |
| 3.4 Dekapování..... | 27 |
| 3.5 Pasivace | 27 |
| 3.6 Lakování | 29 |
| 3.7 Oplachy..... | 29 |

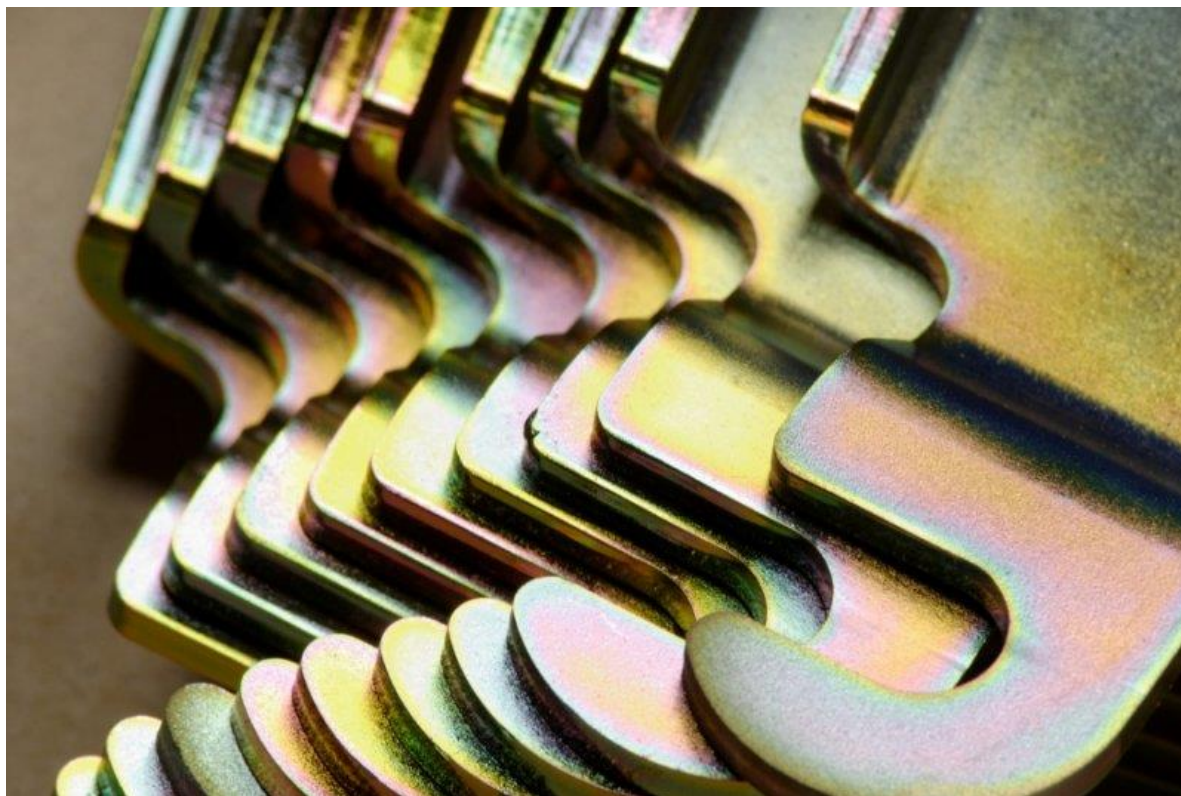
| | | |
|--|---|-----------|
| 3.8 | Konstrukce povlakovaných součástí a její vliv na defekty | 30 |
| 3.9 | Automatizované zinkování | 31 |
| 3.9.1 | Závěsy a rámy | 31 |
| 3.9.2 | Galvanické bubny..... | 31 |
| ZÁVĚRY | | 32 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | | 33 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | | 35 |
| SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK..... | | 36 |

ÚVOD [12], [15]

Korozní nároky kladené na nejrůznější strojní součásti jsou rok od roku vyšší. Bez povrchových úprav je dnes nemyslitelné tyto vysoké nároky splňovat. Jedním z nejrozšířenějších způsobů povrchové úpravy s dobrou korozní odolností je galvanické zinkování, které tvoří 40-50% všech galvanicky chráněných ocelí a litin.

Největším odběratelem v galvanickém průmyslu je automobilový průmysl, který je z velké části odpovědný za další vývoj a inovace v oblasti galvanického zinkování. Prioritou automobilového průmyslu je ochrana součástí před korozí za přijatelných ekonomických podmínek. Právě ekonomické aspekty vedly automobilky k opuštění dražších systémů korozní ochrany pomocí měď-chrom-niklových povlaků a zaměření se na galvanicky vyloučené zinkové povlaky.

Tato bakalářská práce si klade za cíl bližší rozbor technologie galvanické zinkování, neboť se jedná o velice významnou kapitolu povrchových úprav, jejíž vývoj jde neustále vpřed. Na obr. 1 jsou součástky s galvanicky vyloučeným povlakem zinku a tzv. žlutým chromátem.



Obr. 1: Žlutý chromát na zinkovém povlaku [8]

1 GALVANICKÉ ZINKOVÁNÍ – PŘEHLED SOUČASNÉHO POZNÁNÍ

Galvanické zinkování je moderní a rozšířený způsob korozní ochrany, který v součinnosti s dalšími technologickými operacemi poskytuje dobrou korozní ochranu za udržení přijatelných nákladů. Galvanické nanášení povlaků je dobře prozkoumaným oborem s dlouholetou tradicí. To ovšem neznamená stagnaci, právě naopak. Na základě dobře objasněných základních principů probíhá velké množství intenzivních výzkumů s cílem zefektivnění procesů a využití nových postupů a technologií.

1.1 Koroze [6], [15]

Materiály použité pro konstrukci stojů a strojních součástí jsou obvykle namáhány nejen mechanicky, ale jsou často vystaveny také agresivnímu prostředí nebo vysokým teplotám. To může mít za následek porušování a znehodnocování povrchu konstrukčních materiálů nebo dokonce poškození celého stroje. Tento proces nazýváme korozi a jedná se o samovolný nevratný děj, kdy systém materiál-prostředí směřuje od méně pravděpodobného stavu (vyšší volná entalpie) do stavu více pravděpodobného (s nižší volnou entalpií). Děje se tak na základě chemického nebo fyzikálně-chemického procesu mezi materiálem a prostředím. Koroze proniká postupně celým materiálem, od povrchu směrem dovnitř materiálu. Korozi podléhají téměř všechny materiály, nejen kovy, ale i například nekovové anorganické látky (keramika, sklo, beton) nebo organické látky (guma, plasty) a další.

1.1.1 Chemická koroze [4], [5], [6], [15]

Chemická koroze je proces, při němž dochází k chemické reakci mezi prostředím a materiálem. Dochází k přímému ovlivnění povrchových atomů materiálu atomy prostředí. Probíhá v plynech, které mají oxidační či redukční účinek a v některých bezvodých tekutinách za vzniku korozních produktů na povrchu materiálu. Korozní produkty ovšem nemusí být vždy tuhé, například při působení chlorové atmosféry na železo při vyšších teplotách vznikající korozní produkt (chlorid) sublimuje.

Při oxidaci kovů, případně jejich slitin, dochází k uvolnění valenčních elektronů vázaných v atomech kovu a jejich přechodem do korozního činidla. Následuje chemická reakce kovu s korozním prostředím, obvykle za vzniku oxidických sloučenin, ale také i jiných sloučenin, například uhličitánů, síranů a dalších. Příčinou tohoto procesu je termodynamická nestálost kovů v různých korozních prostředích a jejich přechodem do stálejšího stavu korozních zplodin.

Korozní zplodiny mohou výrazně zpomalit další korozi. Je to dáno tím, že vrstva zplodin vzniklá na povrchu základního materiálu brání dalšímu pronikání korozního prostředí k základnímu materiálu. Tvoří tedy překážku difundujícím iontům a tím zpomalují korozní rychlost.

1.1.2 Elektrochemická koroze [4], [5], [6], [15]

Elektrochemická koroze způsobuje korozi kovů za vzniku elektrického proudu. Podmínkou pro vznik tohoto typu koroze je přítomnost iontů vzniklých disociací korozního prostředí a probíhá při kontaktu kovu s elektrolytem. Elektrolyt je obecně roztok nebo tavenina, jehož elektrická vodivost je zajištěna pohybem nabitých iontů.

Jako příklad elektrolytu mohou posloužit nejrůznější roztoky kyselin, zásad a solí. Elektrochemická koroze se rozděluje na katodickou a anodickou, přičemž tyto děje jsou na sobě závislé. Elektroda, která přitahuje záporně nabité ionty, se nazývá anoda. Anoda se rozpouští. Elektroda, která přitahuje kladně nabité ionty a na které se následně vylučují, se nazývá katoda. Katoda se nerozpouští.

Mezi oběma elektrodami vzniká elektrické napětí, které označujeme jako elektrodový potenciál [V]. Velikost tohoto potenciálu závisí především na materiálu elektrod a přítomného elektrolytu.

1.1.3 Korozní prostředí [5], [6]

Korozní prostředí se dělí na čtyři základní typy dle korozního prostředí:

Atmosférická koroze

Atmosférická koroze je elektrochemická koroze a způsobuje až 60% celkových korozních ztrát. Rychlost korozního procesu ovlivňuje celá řada faktorů. Mezi nejdůležitější faktory patří míra ovlhčení povrchu a pravidelnost dosahování rosného bodu v atmosféře. Velice důležitá je taky míra znečištění atmosféry a její další agresivní složky. V průmyslových oblastech to jsou především oxid siřičitý, prach, popílek a mnohé další. V přímořských oblastech výrazně zvyšuje korozní rychlost sůl obsažená v atmosféře. Jak je vidět z obrázku 2, na území České republiky dochází k největším korozním ztrátám zinku v průmyslových oblastech se znečištěným vzduchem, jako je například Ostravsko a Ústecko.

Koroze ve vodách

Jedná se o elektrochemickou korozi a je to nejčastější případ koroze v kapalinách. Intenzitu koroze ovlivňují zejména látky rozpuštěné ve vodě. Může jít jak o zásady, tak o kyseliny. Korozní rychlost ale ovlivňují i jiní činitelé, například chemické procesy v roztoku, kavitace, vliv mechanických nečistot, vliv mikroorganismů a také obsah rozpuštěného kyslíku.

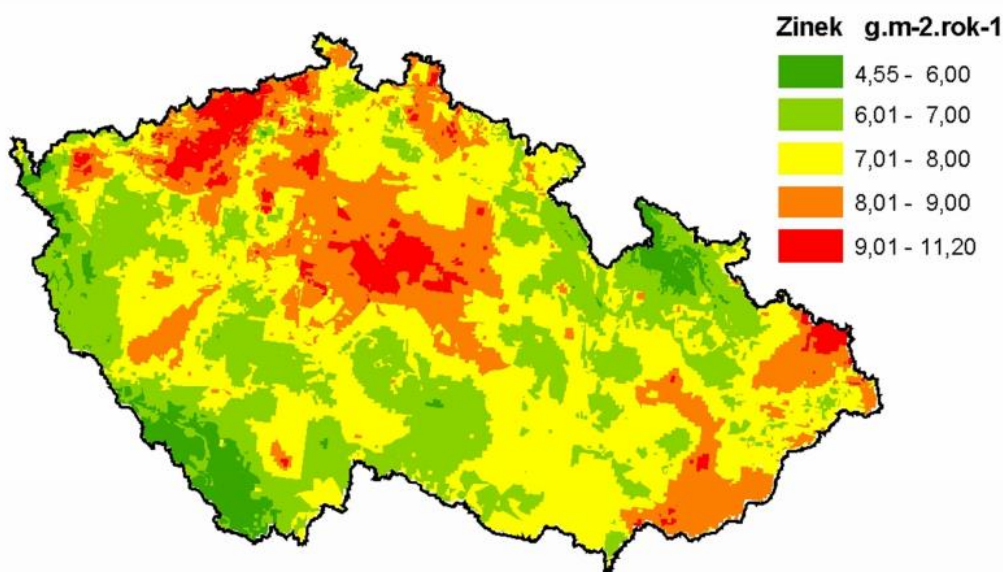
Koroze v plynech

Koroze v plynech vzniká přímým působením atomů a molekul plynu na korodovaný materiál za vzniku chemických sloučenin (chemická koroze). Korozní rychlost je nejvíce ovlivněna chemickým složením plynného prostředí, důležitou roli ale hraje i teplota a parciální tlak korozní složky plynu.

Koroze v půdách

Koroze v půdách je zvláštní a komplikovaný případ koroze v elektrolytech. Půda je totiž tvořena jak plynou, kapalnou tak i tuhou fází. Z korozního hlediska má největší význam fáze kapalná, kterou tvoří vodný roztok s určitým množstvím rozpuštěných plynů. Kyselost, respektive zásaditost, je velice proměnlivá (pH v rozmezí od 3 do 9,5) v závislosti na typu půdy, stejně tak obsah solí je různý (od setin procenta až po 4%). Plynou fází tvoří především dusík, kyslík a oxid uhličitý.

Koroze se také dělí podle vzhledu na rovnoměrnou a nerovnoměrnou a také podle rozhodujícího činitele na korozi při napětí nebo za únavy materiálu.



Obr. 2: Korozní mapa České republiky pro zinek [15]

1.2 Historie galvanických procesů [2], [7], [10]

První písemná zmínka o procesu vylučování kovů z roztoků je datována do pátého století a je připisována Zosimovi, který zjistil, že lze pomědit železo vložené do roztoku obsahující měď. V šestnáctém století pak Paracelsus popisuje postupy při pomědění železa a stříbření mědi. První skutečně významnou osobností v oblasti galvanizace je chirurg a profesor anatomie Luigi Galvani. Během experimentu, při němž preparoval žábu, v jeho blízkosti prováděli studenti pokusy s přístrojem generujícím elektrické výboje, během nichž docházelo k trhavému pohybu stehenního svalu žáby. Tento jev pak dále studoval souběžně s fyzikem Voltou. Další, ještě významnější osobností je Michael Faraday, který roku 1833 formuloval zákon o elektrochemickém ekvivalentu, známém také jako první Faradayův zákon.

Galvanicky vyloučené zinkové povlaky byly z hlediska své korozní odolnosti testovány již v 30. letech 18. století, avšak první patenty teoreticky využitelné pro průmyslovou aplikaci byli zaregistrováni v Anglii a Americe až v 50., respektive 60. letech 18. století. Úspěšné zavádění těchto postupů se ale začalo dařit až koncem století, kdy se díky výzkumu různých přísad pro vyšší kvalitu zinkových vrstev stala tato metoda alternativou pro již zavedené žárové technologie. Po první světové válce dochází k dalšímu vývoji v oblasti galvanických zinkových povlaků a ve 30. letech se objevují lesklé zinkové vrstvy, které znamenají další rozšíření jejich užití. Další významný milník se přichází počátkem 50. let se zaváděním chromátování, které dnes téměř vždy následuje po galvanickém vyloučení zinkové vrstvy.

1.3 Výhody a nevýhody galvanického zinkování [5], [9], [14],

Jako klady galvanického zinkování můžeme uvést především:

- přijatelné vstupní náklady,
- dlouhodobá trvanlivost ochranné povrchové vrstvy, povrch konstrukce obvykle není potřeba často udržovat,

- malá pravděpodobnost vzniku chyb díky vytváření úpravy povrchu v kontrolovaném prostředí zinkovací linky s přesně definovanou technologií,
- tloušťka zinkové vrstvy je snadno ovlivnitelná,
- možnost vytvořit povrch různých barevných odstínů například pomocí chromátování, které dále zvyšuje korozní odolnost
- jednoduchá kontrola kvality povrchu.

Jako zápory pak je třeba uvést především:

- nemožnost vytvořit úpravu přímo na místě montáže,
- velikost zinkovací lázně je omezená, nelze tedy zinkovat rozměrnější nerozebíratelné konstrukce,
- náročná ekologická likvidace odpadních produktů,
- komplikace u zinkování slepých děr a dutin, vzniká vzduchová bublina nebo pracovní médium nemá kudy unikat při vytažení z lázně
- při moření pomocí kyselin nebo při samotném zinkování se v lázni vylučuje vodík, který může pronikat do povrchu oceli a tím způsobovat vodíkovou křehkost
- náročnost svařování ocelí se zinkovou ochrannou vrstvou, především kvůli ochraně obsluhy před vdechováním výparů zinku.

1.4 Galvanické povlakování [5], [6], [15]

Rozpouštěním anorganických solí (např. NaCl , CuSO_4) nastává její elektrolytická disociace. Záporné ionty mají přebytek elektronů (Cl^- , SO_4^{2-}), kladné pak mají jejich nedostatek (Na^+ , Cu^{2+}). Když zavedeme do tohoto disociovaného roztoku pomocí elektrod stejnosměrný elektrický proud z vnějšího zdroje, začnou se záporné ionty vylučovat na kladné elektrodě a kladně nabití ionty na záporné elektrodě. Při vylučování aniontů na elektrodě dochází k jejich oxidaci (odevzdávají nadbytečné elektrony). Tuto elektrodu pak nazýváme anoda. U druhé elektrody, kterou nazýváme katoda, dochází k redukci vylučovaných kationtů (přijímání scházejících elektronů). Tohoto principu se využívá při tvorbě galvanicky vyloučených zinkových povlaků, ale také i u mnoha jiných kovových povlaků.

Nepřetržitou elektrolýzou roztoku mezi dvěma nerozpustnými elektrodami (například Au , Pt) by se stále vylučovali jednotlivé složky soli z roztoku. To by vedlo k úplnému vyčerpání těchto solí z roztoku a následnému zastavení průchodu proudu skrz elektrolyt z důvodů vysokého elektrického odporu čisté vody. Aby elektrolýza mohla dále pokračovat, je nutné doplnit hodnotu disociovaných iontů rozpuštěním další soli v roztoku. To je z pochopitelných důvodů výrazná komplikace, proto se tato metoda až na výjimky nepoužívá pro galvanické pokovení v průmyslovém měřítku. Lze však použít rozpustnou anodu z téhož kovu, který má být vylučován. V tom případě se po přivedení proudu začne anoda v roztoku rozpouštět a do roztoku přecházejí kationty rozpuštěného kovu. Prakticky to znamená, že se během elektrolýzy nesnižuje koncentrace kovové soli v roztoku, protože vyloučené množství kovu na katodě je okamžitě doplňováno příslušným množstvím rozpuštěného kovu z anody. Tato metoda je obvykle používána pro galvanické zinkování a galvanické povlakování obecně.

1.4.1 Řada potenciálů kovů a přepětí vodíku [6], [15]

Elektrolýza vodných roztoků však obvykle neprobíhá tak ideálně, jak je popsáno v předcházející kapitole. Spolu s vylučovaným kovem se na katodě vylučují i jiné kovy, především vodík, který je z elektrolytického hlediska považovaný za kov. Každý kov ve vodném roztoku své soli o dané koncentraci nabývá určitého potenciálu. Změřením potenciálu daného kovu vůči jiným kovům lze pak jednotlivé kovy seřadit do řady podle jejich potenciálu. Jako základní člen této řady byl zvolen vodík s potenciálem rovným nule. Některé kovy jsou vyjmenovány spolu s příslušným potenciálem v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1: Standartní elektrodové potenciály vybraných kovů [6]

| Kov | Potenciál [V] | Kov | Potenciál [V] |
|---------|---------------|---------|---------------|
| Sodík | -2,71 | Cín | -0,14 |
| Hořčík | -1,55 | Olovo | -0,12 |
| Hliník | -1,33 | Vodík | 0,00 |
| Zinek | -0,76 | Antimon | +0,20 |
| Chrom | -0,56 | Měď | +0,34 |
| Železo | -0,44 | Stříbro | +0,80 |
| Kadmium | -0,4 | Rtuť | +0,86 |
| Kobalt | -0,29 | Zlato | +1,36 |
| Nikl | -0,23 | | |

Tato řada říká, že v případě přítomnosti více kovů rozpuštěných v elektrolytu se začne jako první vylučovat kov s vyšším potenciálem. To teoreticky znamená, že je možné z vodných roztoků vylučovat pouze kovy s vyšším potenciálem, než má vodík. U méně ušlechtilých kovů by se na katodě začal vylučovat pouze vodík a to až do úplného rozkladu vody obsažené v roztoku, čímž by se zastavila další elektrolýza. To však neodpovídá realitě, neboť z vodných roztoků se vylučuje velká řada kovů s nižším potenciálem, včetně zinku, než má vodík. Potenciály, při nichž se vylučuje vodík na jednotlivé kovy je ve skutečnosti mnohem nižší než jeho teoretická nulová hodnota. Rozdíl mezi skutečnou a teoretickou hodnotou se nazývá vodíkové přepětí, přičemž velikost tohoto přepětí je na jednotlivých kovech různá. Je-li hodnota vodíkového předpětí zápornější než potenciál kovu obsaženého v lázni, začne se na katodě vylučovat pouze daný kov. Jsou-li si potenciály blízké a zároveň potenciál kovu je zápornější, bude se na katodě vylučovat kov spolu s vodíkem. První případ je pro galvanické pochody ideální, druhý je však obvyklejší.

1.4.2 Faradayovi zákony [6], [15]

Vztahy mezi množstvím vyloučeného a rozpuštěného kovu při galvanickém procesu vyjadřují Faradayovi zákony. První zákon říká, že množství vyloučené látky účinkem elektrického proudu je přímo úměrné velikosti náboje prošlého elektrolytem. Tento vztah je vyjádřený rovnicí (1.1).

$$m = A_e \cdot I \cdot \tau \quad (1.1)$$

m – množství látek vyloučených vlivem elektrického proudu [g]

A_e – konstanta úměrnosti (elektrochemický ekvivalent, množství látky vyloučené nábojem 1C) [$\text{g} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]

I – elektrický proud [A]

τ – čas [s]

Tento vztah se také nazývá zákon stálého elektrochemického působení. Druhý Faradayův zákon říká, že množství různých látek vyloučených na elektrodách průchodem stejného náboje jsou v poměru svých ekvivalentů. Tento zákon je reprezentován rovnicí (1.2).

$$A_e = \frac{M}{n \cdot F} \quad (1.2)$$

M – molární hmotnost kovů [$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$]

n – mocenství kovového kationtu v lázni [-]

F – Faradayova konstanta, je rovna přibližně $96\,487 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

Oba Faradayovi zákony je možné vyjádřit rovnicí (1.3).

$$m = \frac{M \cdot I \cdot \tau}{n \cdot F} \quad (1.3)$$

V galvanotechnice se veliče často používá jednotka elektrického množství, tzv. ampérhodina [A.h]. K vyloučení jednoho gramekvivalentu kovového povlaku je zapotřebí 26,8 A.h.

1.4.3 Proudový výtěžek [5], [6], [15]

Při procesu galvanického vylučování povlaků probíhají na obou elektrodách nejen hlavní žádané reakce, ale také vedlejší. Ty způsobují, že dodané množství proudu není zcela spotřebováno na vylučování a rozpouštění kovu. Poměr skutečného a teoretického množství proudu nazýváme proudový výtěžek a je vyjádřen rovnicí (1.4).

$$r_{\text{kat./anod.}} = \frac{m_{\text{skut.}}}{m_{\text{teor.}}} \cdot 100 \quad (1.4)$$

$r_{\text{kat./anod.}}$ – katodický, respektive anodický proudový výtěžek [%]

$m_{\text{skut.}}$ – množství skutečně vyloučeného, respektive rozpuštěného kovu [g]

$m_{\text{teor.}}$ – množství vyloučeného, respektive rozpuštěného kovu vypočtené z Faradayova zákona [g]

Katodický proudový výtěžek je často snižován vývinem vodíku a u jednotlivých typů galvanických lázní se značně liší. U slabě kyselých zinkovacích lázní dosahuje až 98 %, kdežto u chromových lázní s kyselinou sírovou se pohybuje v rozmezí 10-20 %. Vylučovaný vodík na povrchu katody nejenže snižuje účinnost galvanického procesu, ale také může výrazně nepříznivě ovlivnit povlak nebo i samotný podkladový kov vznikem vodíkové křehkosti. Z těchto důvodů je vývoj vodíku nežádoucí a je co nejvíce potlačován.

Naproti tomu je anodický výtěžek často vyšší než 100%. Je to způsobováno chemickým rozpouštěním anody v elektrolytu. To může vést u procesů s malým výkonem k dalším komplikacím.

Proudová účinnost katodového a anodového pochodu je při galvanickém pokovení důležitým ekonomickým hlediskem. Uvažujeme-li proudový výtěžek a hmotnost vyloučeného kovu vyjádříme hodnotami pokoveného zboží, získáme rovnici (1.5).

$$h \cdot \rho \cdot c = A_e \cdot I \cdot \tau \cdot r \quad (1.5)$$

respektive její úpravou (1.6).

$$\tau = \frac{h \cdot \rho \cdot c}{A_e \cdot I \cdot r} \quad (1.6)$$

τ – čas pokovení [s]

h – tloušťka povlaku [mm]

c – plocha pokovení [mm²]

ρ – hustota vylučovaného kovu [g.mm⁻³]

A_e – elektrochemický ekvivalent [g.A.s⁻¹]

I – proud [A]

r – proudový výtěžek [%]

1.4.4 Polarizace elektrod [6], [15]

Během elektrolýzy vzniká v lázni sekundární galvanický článek s napětím orientovaným proti přivedenému napětí. Tento jev se nazývá polarizace elektrod a jedná se o odpor systému elektroda-elektrolyt k probíhajícímu elektrochemickému ději. Z toho plyne, že napětí k dosažení určitého pokovovacího proudu je třeba zvýšit o tuto hodnotu. Látky odstraňující nebo snižující velikost polarizace nazýváme depolarizátory. Polarizace má několik jednotlivých složek, jejich součet určí celkovou velikost polarizace:

koncentrační polarizace – v těsné blízkosti anody je zvýšené množství uvolněných kationtů kovu, v blízkosti katody jich je nedostatek. Tato situace je nepříznivá pro vylučování povlaku a odstraňuje se zvýšením difuze jednotlivých složek v lázni (zvýšení teploty) a mícháním lázně.

odporová polarizace – rozhraní elektroda-elektrolyt má určitý ohmický odpor, který se snižuje zvýšením vodivosti samotné lázně.

chemická polarizace – kationty a anionty jsou ve vodném roztoku obvykle hydratovány, pro vyloučení musí být iont dehydratován. Uvolnění se děje určitou (nízkou) rychlostí, čímž brzdí chemickou reakci. Chemická polarizace se snižuje zvýšením teploty.

1.4.5 Svorkové napětí a hloubková účinnost [6], [15]

Minimální napětí potřebné pro překonání polarizace elektrod je rozkladné napětí. Při tomto napětí bude probíhat nepřetržitý rozklad elektrolytu. Pro dosažení požadované proudové hustoty je však nutný další přírůstek napětí, který je dán součinem pokovovacího proudu a ohmického odporu lázně. Rovnice svorkového pokovovacího napětí tedy nabývá tvaru (1.7).

$$E_s = E_r + I \cdot R \quad (1.7)$$

E_s – svorkové napětí [V]

E_r – rozkladné napětí [V]

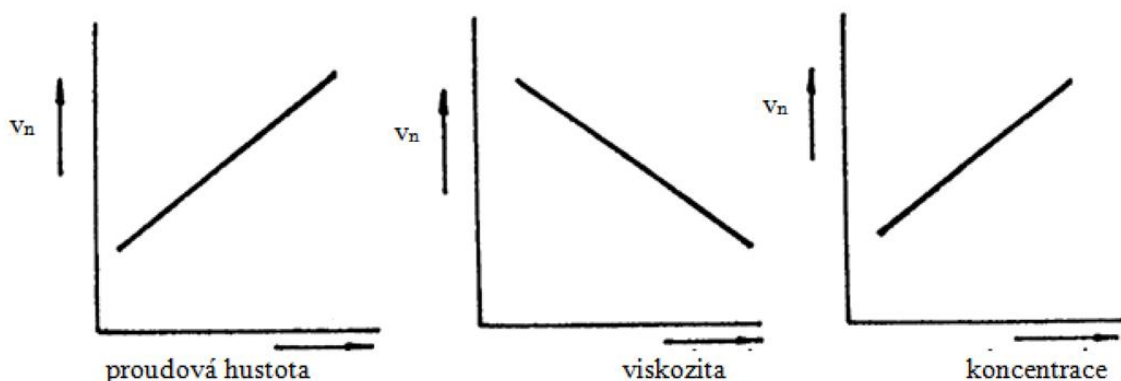
I – pokovovací proud [A]

R – ohmický odpor lázně [Ω]

Dalším významným parametrem lázní je jejich hloubková účinnost. Tím popisujeme schopnost lázně vyloučit stejnou vrstvu povlaku na všech místech povrchu pokovovaného dílce. Výbornou hloubkovou účinnost mají zejména kyanidové lázně. Oproti tomu u roztoků z jednoduchých solí se vylučuje nestejněměrná vrstva, kdy se na výstupcích a hranách vylučuje větší vrstva než na rovných plochách a v prohlubních a dírách se vylučuje vrstva ještě slabší.

1.5 Krystalická stavba povlaků [6], [15]

Krystalická stavba povlaků je závislá především na dvou parametrech, rychlosti tvoření krystalových zárodků (v_n) a rychlosti samotné krystalizace (v_r). Pro vyloučení jemnozrnných povlaků je obecně třeba co nejvyšší rychlost nukleace center a malá rychlost krystalizace. Toho lze dosáhnout pomocí správné proudové hustoty, teplotou lázně, různými přísadami nebo například reverzačním zapojením. První zárodky vznikají na tzv. aktivních centrech (geometrických výčnělcích, trhlinách apod.), které mají vyšší energetickou hladinu oproti ostatním plochám katody. Vylučováním těchto center, například leštěním, roste spontánní krystalizační rychlost, což má za následek jemnější strukturu povlaku. Spontánní krystalizační rychlost je silně ovlivněna proudovou hustotou, koncentrací iontů vylučovaného kovu v lázni a její viskozita. Tato závislost je naznačena na obrázku 3.



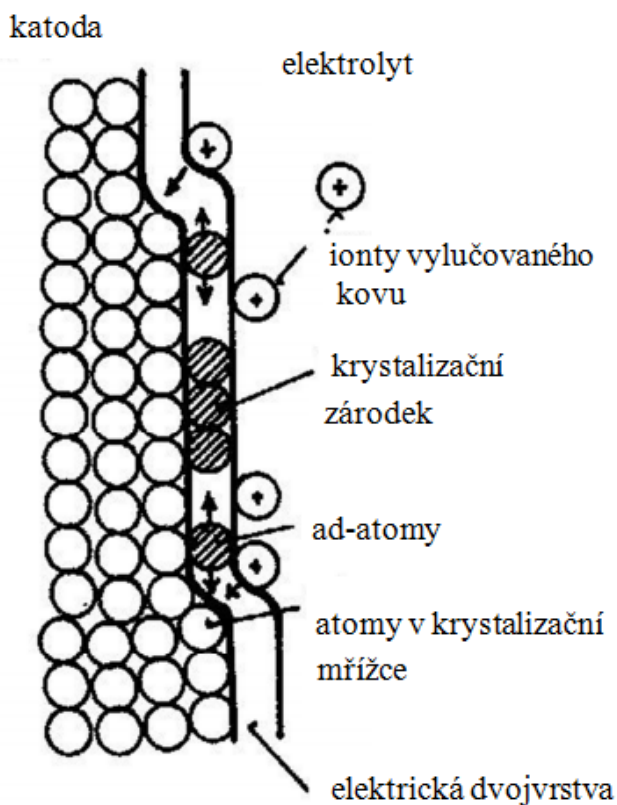
Obr. 3: Závislost proudové hustoty, viskozity a koncentrace iontů na rychlosti tvoření krystalových zárodků [6]

Z těchto grafů vyplývá, že pouhým zvyšováním koncentrace roztoku a proudové hustoty zvyšujeme rychlost nukleace zárodků a tím můžeme rychleji dosáhnout požadované povlaky. Praxe je ovšem jiná. Při překročení optimálních hodnot proudové hustoty a koncentrace pro daný typ lázně vznikají povlaky s hrubou krystalickou strukturou, případně s nízkou přilnavostí k základnímu podkladovému povrchu.

Do lázně se často přidávají organické látky koloidního charakteru, které mají schopnost obalovat jednotlivá krystalizační centra na katodě. Tím zabrání nárůstu nežádoucích velkých krystalů. Samostatnou skupinou těchto látek jsou tzv. leskutvorné přísady. Ty mají tak velký účinek na vylučující se kov, že tvoří jemnozrné lesklé povrchy. Další možností, jak ovlivnit lesk a rovnoměrnost povlaku je reverzační zapojení. Při něm se pokovovaný dílec stává střídavě katodou (na delší dobu) a anodou (na kratší dobu). Při katodickém zapojení se na předmětu vylučuje kovový povlak a při zapojení jako anoda se z něj zase kov rozpouští. Důležité ale je, že se povlak rozpouští rychleji z vrcholů drsnosti, čímž se povlak uhlazuje a vzniká rovnoměrný a lesklý povrch.

Vlastní krystalizace kovového povlaku probíhá ve čtyřech fázích, viz obrázek 4.

- transportní reakce kationtů vylučovaného kovu k povrchu katody pomocí migrace a difúze,
- přestup iontů fázovým rozhraním elektrolyt-elektroda spojená s desolvatací a reakce s elektrony za vzniku vylučovaného kovu,
- difúze absorbovaných atomů k místům, kde se zabudují do krystalické mřížky (vznik krystalických zárodků),
- růst krystalů vylučovaného kovu.



Obr. 4: Schéma elektrokrystalizace [6]

2 PŘÍPRAVNÉ OPERACE A TYPY LÁZNÍ

Pro vyloučení jakostního povlaku na součásti je potřeba zvolit vhodné metody přípravných operací a také typ galvanické lázně. V následující kapitole si objasníme nutnost použití předúprav povrchu a také jednotlivé typy zinkovacích lázní, včetně jejich výhod a nevýhod.

2.1 Přípravné operace [5], [6], [9], [15]

Před nanášením jakýchkoliv povlaků vždy provádíme operace předúpravy povrchu. Výjimkou není ani galvanické zinkování. Na povrchu dílců určených k zinkování jsou obvykle zbytky různých konzervantů, olejů, okují, korozních produktů, prachových a jiných nečistot, které znemožňují povlakovat dílce přímo. Vhodná příprava povrchu zinkovaného dílce je totiž z jednou z nejdůležitějších podmínek pro získání povlaku s dobrou přilnavostí k základnímu materiálu, stejnoměrným vzhledem a dobrou celoplošnou odolností proti korozi. Předúpravy povrchů se obvykle dělí na dvě skupiny operací:

- mechanické úpravy povrchu,
- chemické úpravy povrchu.

2.1.1 Mechanické úpravy povrchu [5], [6], [15]

Mechanické úpravy povrchu nemají za úkol úpravu či změnu rozměrů výrobku. Jejich účelem je obstarat žádanou kvalitu povrchu, obvykle hodnocenou drsností povrchu. Mají tedy za úkol:

- očistit povrch od nečistot,
- zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následných vrstev,
- vytvořit podmínky pro zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení,
- vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům,
- zlepšit mechanické vlastnosti povrchu.

Dnes jsou nejužívanějšími technologiemi povrchových úprav broušení, leštění a kartáčování. Sled broušení a leštění je z hospodářského hlediska velice nákladná operace, proto se provádí pouze tam, kde jsou velice vysoké nároky na výslednou kvalitu povrchu. Další technologie řadící se k mechanickým úpravám povrchu jsou omílání a otryskávání.

Broušení

Hlavním účelem broušení je postupné odstranění hrubých nerovností povrchu dílce, například švy odlitků a výkovků, rýhy a podobně. Broušení se rozděluje na broušení hrubé a jemné. U hrubého broušení, takzvaném hrubování, se používá brusivo o zrnitost 24 až 100 a to za sucha. U jemného broušení se kotouče přimazávají pro snížení tření a zvýšení výsledné kvality povrchu. Brusivo má zrnitost 120 až 240.

Leštění

Hranice mezi broušením a leštěním není přesně stanovena. Při leštění dochází k menšímu úběru materiálu než při broušení, navíc ale dochází k plastické deformaci povrchu materiálu, kdy se odstraňují nejjemnější stopy po předchozím opracování. Výsledná drsnost povrchu může dosahovat až Ra 0,1 a odvíjí se od použitého nástroje, jeho obvodové rychlosti a leštící pasty s užitým druhem abraziva (oxid chromitý, oxid železitý, oxid hlinitý a podobně).

Kartáčování

Kartáčování se rozděluje na dva druhy, podle cíle dané operace. Zaprvé se užívá pro odstranění hrubých nečistot z povrchu, jako je například rez nebo staré nátěrové hmoty, které je třeba před dalším zpracováním odstranit. V takovém případě se pro ocelové předměty užívají ocelové kartáče z rovného nebo vlnitého plechu a pro předměty z neželezných kovů například mosazné kartáče. V druhém případě se kartáčování zařazuje jako operace hned za broušení pro odstranění oxidické vrstvy vzniklé broušením a ke zjemnění a sjednocení povrchu. V těchto případech se používají měkké a pružné kartáče, na kterých dobře ulpívají brusné pasty. Je ale třeba mít na paměti, že kartáčováním nelze dosáhnout úplného odstranění nežádoucích nečistot z povrchu, například v pórech, kam kartáč nedosáhne, mohou zůstat korozní produkty.

Omílání

Omílání je mechanický způsob úpravy povrchu, při kterém dochází k úběru materiálu na základě vzájemného působení omílaných součástí a omýlacích prostředků, kapaliny a chemickými prostředky). Tento způsob úpravy povrchu se používá především pro velké série menších součástí se složitějším tvarem. Nevýhoda této technologie je nerovnoměrný úběr materiálu, kdy na hranách a výčnělcích je největší.

Otryskávání

Smyslem technologie otryskávání je zbavení povrchu korozních produktů a různých nečistot a zajištění požadované drsnosti. Při otryskávání se využívá velká dopadová rychlost abrazivních částic, které jsou metány proti povrchu dílce. Výsledná úběrová vrstva se řídí mnoha parametry, jako jsou vlastnosti otryskávaného materiálu, velikostí zrn a abrazivních částic, tlakem způsobeným dopadajícími částicemi nebo úhlem a vzdáleností tryskání.

2.1.2 Chemické úpravy povrchu [3], [6], [15]

Chemické (elektrochemické) úpravy povrchu mají za úkol především odstranit nečistoty z povrchu součástí. Mezi tyto metody se řadí technologie odmašťování, moření, odrezování a chemické leštění. Nečistoty na povrchu součástí mohou být rozděleny do dvou hlavních kategorií, ulpělé a vlastní nečistoty.

Ulpělé nečistoty jsou k povrchu vázány pouze adhezními silami. Do této kategorie řadíme všechny mastné látky (oleje, emulze apod.), prachové nečistoty a nerozpustné anorganické nečistoty. Způsob odstraňování těchto nečistot se nazývá odmašťováním.

Vlastní nečistoty jsou spolu s podkladovým kovem spojeny chemickou vazbou. Jedná se hlavně o korozní zplodiny, jako jsou okuje nebo rez. Technologii odstraňování těchto nečistot nazýváme mořením.

Odmašťování

Jak již bylo řečeno výše, odmašťování je proces, při kterém dochází k uvolnění ulpělých částic a zabránění jejich zpětného vyloučení na povrch. Nečistoty mohou být ulpělé na základě fyzikální absorpce (veškeré mastné látky, tuky, oleje apod.) nebo na základě adhezních sil (prach, kovové třísky, anorganické nečistoty). Odmašťování můžeme dělit z několika hledisek. Při dělení dle probíhajících pochodů a druhu použitých prostředků rozlišujeme tři kategorie:

- odmašťování v organických rozpouštědlech,

- odmašťování ve vodných alkalických roztocích,
- odmašťování emulzí.

Z hlediska způsobu aplikace, respektive styku s rozpouštědly, rozlišujeme:

- odmašťování ponorem,
- odmašťování postřikem,
- odmašťování v parách,
- odmašťování elektrolytické,
- odmašťování ultrazvukem,
- odmašťování mechanické a tepelné.

Organická rozpouštědla

Velkou výhodou organických rozpouštědel je jednoduchý způsob odmašťování s vysokou čistící mohutností. Nevýhody této technologie jsou komplikované likvidace použitých rozpouštědel, neúčinnost u heteropolárních nečistot (např. anorganické soli) a nemožnost použít rozpouštědlo na vlhké povrchy. Z důvodů těchto zmíněných komplikací se tato rozpouštědla nepoužívají v průmyslovém měřítku. Jako organická rozpouštědla se používají obvykle látky na bázi chlorovaných uhlovodíků nebo například benzin, petrolej a mnohé jiné.

Alkalické roztoky

Princip vodných alkalických roztoků pro odmašťování probíhá na základě chemicko-koloidních procesů. Obsahuje buď volný hydroxid, nebo zásadité soli. Tato technologie má mnoho výhod oproti odmašťování pomocí organických rozpouštědel. Předně se rozpouštějí i heteropolární sloučeniny, se kterými si organická rozpouštědla neporadí. Dále jsou tato rozpouštědla nehořlavá a jsou levnější. Taktéž jsou ekologicky méně závadná a poskytují kvalitnější odmaštění. Na druhou stranu, tento typ odmaštění není vhodný pro čištění velmi členitých předmětů s dutinami a slepými dírami a pro litiny před nátěrem. V případě předmětu s drobnými dutinami je velmi komplikované správně a úplně vypláchnout zbytky lázně. Ty poté způsobují korozi součástí v daném místě.

Emulzní odmašťování

Při emulzním odmašťování se užívají organická rozpouštědla získávána destilací ropné frakce s vyšší bodem vzplanutí. Tato rozpouštědla obsahují organické emulgátory (např. sulfonáty) a alkálie, které udržují příslušnou hodnotu pH. Aplikace pak probíhá postřikem nebo ponorem, přičemž rozpouštědlo rozpouští mastnotu a snižuje její viskozitu. Emulgátory dále podporují penetraci rozpouštědla do mastné vrstvy. Rozpuštěná mastnota spolu se zbytky rozpouštědla je opláchnuta vodou ve formě vodné emulze. Celý proces obvykle probíhá při normální teplotě a je velice účinný a vhodný pro odstraňování velké škály mastných nečistot. Jeho masivnějšímu rozšíření však brání možnost vzniku některých velmi stabilních emulzí a s tím spojené komplikované zpracování odpadních vod.

Moření

Moření je proces odstraňování chemicky vázaných nečistot na povrch součástí, jako je rez nebo okuje. Tento proces může probíhat čistě chemicky nebo za přítomnosti elektrického proudu elektro-chemicky. K moření se nejčastěji používá kyselin a kyselých solí, v některých případech se užívá alkalických látek. Tato technologie se nejčastěji používá u ocelí a litin, u

kterých je často potřeba odstranit okuje po tváření za tepla a tepelném zpracování a stejně tak pro odstranění rzi. V takovém případě se nejčastěji používá kyselina sírová, která má mnoho výhod. Předně je to nízká cena, dále pak nízká spotřeba a malá exhalace do okolí. Ve velké míře se také používá kyselina chlorovodíková, která při vysokých koncentracích potřebuje menší čas ponoru, ovšem její výpary jsou velice agresivní. Rychlost moření je silně ovlivněna nejenom použitým mořicím prostředkem, ale také teplotou, mícháním lázně a množstvím a typem nečistot (rzi a okují).

Odrezování

Odrezování je proces, kdy se z povrchu odstraňují hydratované oxidy („rez“) a zároveň nejsou přítomny okuje. Tyto korozní zplodiny se z oceli odstraňují kyselinami, nejčastěji roztokem kyseliny fosforečné (H_3PO_4). Odrezovače kromě kyseliny fosforečné obsahují také další látky, inhibitory koroze, smáčedla a odmašťovadla.

Chemické leštění

Chemické, respektive elektro-chemické leštění je v principu velice podobné procesu moření. Jedná se o rozpouštění kovů agresivními roztoky za specifických a přesně řízených podmínek, kdy se rychleji rozpouští vyvýšená místa mikronerovností. Tato technologie se obvykle používá jako finální úprava pro malé a tvarově složité součásti, které není možné leštit mechanicky. Své uplatnění má hlavně u součásti z hliníku, mědi, niklu a jejich slitin. Ocel a litiny se chemicky neleští, při tomto procesu totiž naopak ztrácí lesk a reznou.

2.2 Typy lázní [5], [6]

Složení pokovovacích lázní obecně je velice rozmanité a platí to i pro zinkovací lázně. Pro všechny však platí, že mají být co nejstálější, tedy že nesmí nastat samovolný rozpad účinných komponent. Pro stálost roztoků i vlastnosti vylučovaných povlaků je velice důležitým ukazatelem hodnota pH lázně. Podle hodnoty pH se zinkovací lázně zhruba dělí na kyselé a na alkalické, čili zásadité lázně. Vhodná hodnota pH se udržuje přidáváním kyselin nebo zásad. Vlastnosti vylučovaných povlaků také závisí na formě, v jaké se vylučují na povrch katody. U roztoků z jednoduchých solí se vylučují hrubozrnné povlaky z důvodů nízké polarizace katod. Naopak je tomu u roztoků tvořených komplexními anionty. U nich je poměrně vysoká polarizace katody a to má za následek vylučování jemnozrnných povlaků.

Složení elektrolytu musí být takové, aby zaručovalo neměnný potenciál vylučování žádaného kovu a zároveň dokonalou rozpustnost anod. Na anodách nesmí vznikat oxidační vrstva, která by zhoršovala rozpustnost anody v lázni.

V současné době se v praxi užívají 4 typy zinkovacích lázní:

- alkalické kyanidové lázně,
- alkalické bezkyanidové lázně,
- kyselé lázně,
- slabě kyselé lázně.

2.2.1 Alkalické kyanidové lázně [5], [6], [7], [12], [15]

Kyanidové lázně s vysokým obsahem kyanidů jsou mezi užívanými lázněmi nejstarší. Zinek v nich je vázán v komplexním kyanidu zinečnatosodném a také v zinečnatanu sodném. Rovnovážný vzájemný poměr zinku, hydroxidu sodného a volného kyanidu má důležitý vliv na kvalitu výsledného zinkového povrchu. Obvyklé složení kyanidové lázně pro závěsové zinkování:

| | |
|-------------------------|------------|
| množství zinku | 35-45g/l |
| množství veškerého NaCN | 100-135g/l |
| množství NaOH | 80-120g/l |

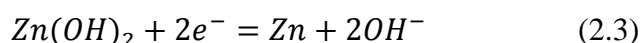
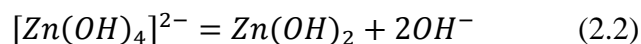
Tyto lázně se vyznačují především velmi dobrou hloubkovou účinností, vylučováním jemnějších a rovnoměrných povrchů a také snese méně kvalitní předúpravu povrchu. Pro výsledný lesk se přidávají leskutvorné přísady. U nás se od této metody začátkem 90. let začalo ustupovat, především kvůli vysoké toxicitě samotné lázně a z ní vyplývají náročná ekologická likvidace odpadních vod, nutnost jedového hospodářství a skladování a evidence zvláště nebezpečných jedů. Dalšími nevýhodami této metody je navodíkování základního ocelového materiálu, obtížné pokovení litiny a nižší proudový výtěžek v porovnání s jinými typy lázní. Stopy cizích kovů v lázni zhoršují výsledný zinkový povrch a odstraňují se přidavkem sulfidu sodného, jehož přebytek v lázni nemá vliv na výslednou jakost povrchové vrstvy. Optimální proudová hustota je 4-5 A/dm², ale zle se pohybuje až v rozmezí 1-10 A/dm². Rychlost vylučování zinkového povlaku je 1 μm/minutu při proudové hustotě 5 A/dm². Provozní teplota se pohybuje od 20°C do 30°C.

2.2.2 Alkalické bezkyanidové lázně [5], [6], [7], [12], [15]

Tento typ lázní začal prakticky okamžitě po svém uvedení na trh v roce 1965 vytlačovat kyanidové lázně. Byl sice vyřešen problém silně toxického kyanidu, ovšem značná část těchto lázní obsahovala silná komplexní činidla, což způsobovalo další problémy především v oblasti čištění odpadních vod. V alkalických bezkyanidových je obvykle hlavní složkou NaOH a zinek je přítomen ve formě zinečnatanu. Hmotnostní obsah NaOH se zhruba rovná desetinásobku zinku. Vylučování zinku probíhá z hydroxokomplexu [Zn(OH)₄]²⁻, který vzniká rozpouštěním zinečnaté soli v hydroxidu, dle rovnic (2.1), (2.2) a (2.3).



Samotná elektrolýza pak probíhá dvoustupňově



V lázni je důležitý obsah organických komplexotvorných látek (např. kyselina ethylendiamintetraoctová, hexametylentetraamin, alkanolamin apod.), které tvoří se zinkem silné komplexy, čímž se zabrání vylučování hydroxidu zinečnatého. Díky těmto látkám se vylučuje pololesklá až lesklá vrstva zinku s dobrými mechanickými vlastnostmi. Oproti kyanidovým alkalickým lázním se pracuje s nižší hodnotou proudové hustoty, obvykle v rozmezí 2-4 A/dm². Vylučovací rychlost je 0,5 μm/minutu při proudové hustotě 3 A/dm². Proudový výtěžek je stejně jako u kyanidových alkalických lázní poměrně nízký, pohybuje se v rozmezí 50-75 % a je ovlivnitelný teplotou samotné lázně. S tou lze pracovat v rozmezí 20-35 °C (jako optimální se uvádí 25 °C). Mezi výhody těchto typů lázní patří lepší dekorativní

vzhled oproti kyanidovým lázním, nižší pnutí a vysoká rovnoměrnost rozložení zinkové vrstvy. Jako nevýhody je třeba uvést především nízký proudový výtěžek a nutnost chlazení lázně.

2.2.3 Kyselé lázně [5], [6], [11], [15]

Na začátku 20. století byla vyvinuta metoda zinkování pásové oceli pomocí kyselé lázně na bázi síranů. Využívá se hlavně v kontinuální výrobě pro pokovení drátů a pásů při užití velkých rychlostech posuvu. Nositelem kovu je ZnSO_4 a vodivost lázně se dále upravuje pomocí kyseliny sírové. Vyloučené povlaky jsou s leskutvornými přísadami pololesklé až lesklé, bez nich matné, hrubé až houbovité. U tohoto typu lázně se pracuje s vysokou proudovou hustotou, 5-10 A/dm² a pH se pohybuje v rozmezí 2-5,5. Výhodou kyselých lázní je vysoká proudová účinnost, 90-98 %. Nevýhoda je nízká hloubková účinnost, která znemožňuje užití této metody pro běžné užití, u kontinuální výroby ale není na závadu. Taktéž je třeba chránit armaturu před účinky kyselé lázně.

2.2.4 Slabě kyselé lázně [5], [6], [7], [12], [15]

V 60. letech byly vyvinuty slabě kyselé lázně pro galvanické zinkování na základě potřeby průmyslu po rychlejší vylučovací rychlosti. Původně byly lázně na bázi chloridu amonného, ovšem amonné ionty byly postupně nahrazovány draselnými, především z ekologických důvodů. Dnes je lázeň nejčastěji založena na bázi chloridových nebo síranochloridových elektrolytů (ZnCl_2 respektive $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Vodivost se zvyšuje přidáváním dalších látek, jako jsou $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ u síranochloridových nebo například AlCl_3 u chloridových lázní. Jako leskutvorné látky se přidávají další organické přísady (například u síranochloridových lázní se přidává glukóza, dextrin, želatina a jiné), rozpouštědla a smáčedla. V nejnovějších typech se užívá nepěnivých smáčedel, což umožňuje míchat lázně vzduchem. Pracovní teplota lázně je poměrně vysoká, 20-45 °C (optimální 33 °C) a to hlavně díky vyšší proudové hustotě, která zvyšuje toleranci lázně k rozpuštěnému železu. Rozmezí hustoty elektrického proudu je 2-6 A/dm², vylučovací rychlost je 0,84 μm/minutu a proudový výtěžek se v celém proudovém rozsahu pohybuje okolo 95 %. Mezi nesporné výhody tohoto typu lázně patří především vysoká vylučovací rychlost, dobrá hloubková účinnost, tažnost a vysoký lesk povlaku. Díky nízkému vývoji vodíku je také nízké riziko navodíkování povrchu oceli a tím vzniku vodíkové křehkosti u pevnostních a ušlechtilých ocelí. To umožňuje povrchově upravovat například pružiny nebo dílce z šedé a temperované litiny. Hlavní nevýhoda této metody je potřeba kvalitního povrchu dílce a tím vyšší nároky na předúpravu. Také je třeba chránit armatury před účinky kyselé lázně, například vhodnou plastickou hmotou.

Kromě složení elektrolytu ovlivňují kvalitu vyloučeného povlaku i tepelně technické, elektrické a technologické veličiny a podmínky. Mezi pracovní podmínky se uvádí především teplota lázně, zabezpečení mezních stavů hladiny a účinné míchání. Z elektrických veličin to jsou hlavně svorkové napětí, proud a proudová hustota. Technologické podmínky jsou obsah základních složek v lázni, množství přísad a nečistot. Sledováním a udržováním vhodných hodnot všech uvedených veličin a podmínek je nezbytné pro správnou optimalizaci jakosti a produktivity výroby.

Z uvedených vlastností je patrné, že neexistuje žádná univerzální lázeň pro galvanické zinkování, která by měla všechny vlastnosti ideální. Kyselé lázně pracují s velkou proudovou hustotou, povlak se vylučuje velmi rychle a dosahuje se velké katodové účinnosti. Na druhou

stranu povlaky bývají hrubozrnné a lázně mají malou hloubkovou účinnost. Alkalické lázně vylučují povlak pomaleji a mají nižší katodovou účinnost oproti lázním kyselým, mají ale výhodu ve vylučování jemnozrnného a rovnoměrného povlaku a dobré hloubkové účinnosti. Pro volbu vhodné lázně je potřeba brát v úvahu celou řadu aspektů, jako jsou nejen funkční a protikorozní požadavky na pokovený dílec, ale také vzhledové a ekonomické nároky.

2.2.5 Hullová zkouška [6], [15]

Pro kontrolu kvality galvanických lázní se používá tzv. Hullův test. Provádí se pomocí Hullové vaničky s obsahem 250 ml, která se naplní zkoumaným elektrolytem. Vanička je z nevodivého materiálu, elektrody přiléhají těsně k jejím stěnám a její konstrukce zajišťuje různou proudovou hustotu. Místní proudová hustota I_k se mění dle rovnice (2.4):

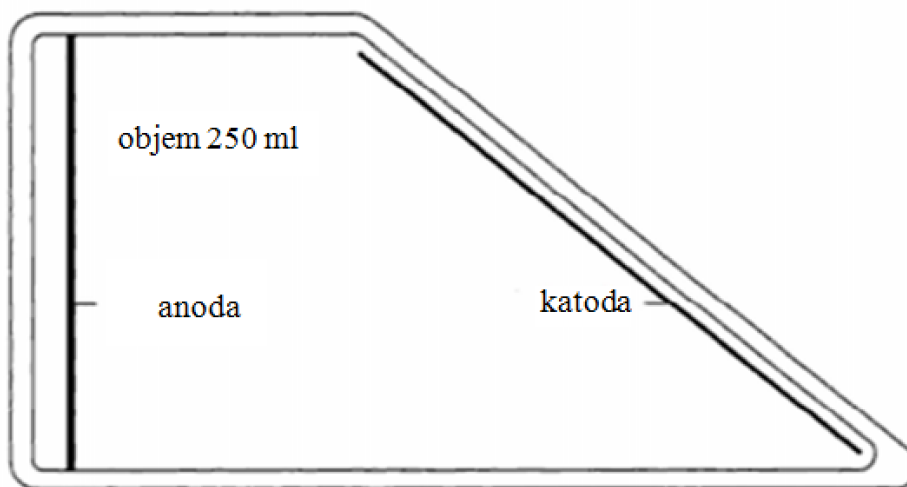
$$I_k = I(5,102 - 5,240 \cdot \log x) \quad (2.4)$$

I_k – proudová hustota [A/dm^2]

I – proud [A]

x – vzdálenost od kraje katody [mm]

Materiál katody se volí na základě zpracovávaného materiálu v galvanické lázni. Konstrukce Hullové cely je zřejmá z obrázku 5.



Obr. 5: Hullová cela [15]

3 TECHNOLOGIE GALVANICKÉHO ZINKOVÁNÍ

Povrch součástí dodaných pro galvanické zinkování je téměř vždy nevhodný pro přímé nanášení povlaku. Způsobují to ulpělé nečistoty na povrchu, zbytky olejů, koroze, okuje a další cizí látky a tělesa. Tato kontaminace povrchu se musí odstranit, znemožnila by vytvořit kvalitní zinkový povlak s dobrou přilnavostí k základnímu materiálu. Toho se dosahuje sledem několika technologických operací: hrubým odmaštěním, mořením, elektrolytickým odmaštěním a následnou aktivací povrchu. Pokud je potřeba, před tyto operace se zařazuje mechanické opracování povrchu. Pokud se při těchto operacích nedosáhne dokonale čistého povrchu, nemůže následně vzniknout vysoce jakostní a rovnoměrný zinkový povlak.

V takovém případě bude mít špatnou přilnavost (v krajním případě se může i loupat),



Obr. 6: Zinkovací linka, OSTROJ a.s. [8]

nerovnoměrnou tloušťku povlaku, vzhledové vady a sníženou korozní odolnost. Po vyloučení zinkové vrstvy následují další operace s účelem dále zvýšit korozní odolnost (pasivace a lakování) Problematické oplachy je věnována samostatná kapitola. Automatizovaná galvanická linka je na obrázku 6.

3.1 Hrubé odmaštění [5], [6], [15]

Hrubé odmaštění je prvním stupněm předúpravy povrchu. Jak již bylo řečeno

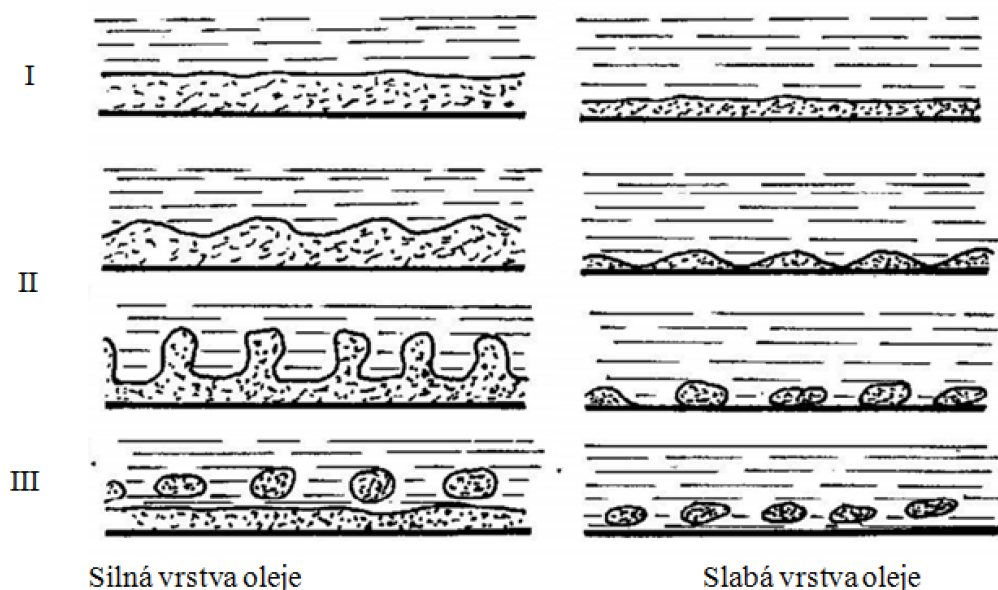
v kapitole (2.1.2), tento proces může probíhat v:

- organických rozpouštědlech,
- ve vodných alkalických roztocích,
- v emulzích.

Dnes neužívanější způsob odmašťování probíhá ve vodných alkalických roztocích. Ty mají mnoho výhod. Nejdůležitější z nich je, že odstraňují všechny druhy ulpělých nečistot. Jak látky vázané na povrch fyzikální absorpcí (mastné nečistoty), tak látky vázané adhezními silami (prach, kovové třísky apod.). Důležitou vlastností je také rozpouštění heteropolárních sloučenin (anorganických solí), se kterými si neporadí organická rozpouštědla. Také jsou ekologicky méně závadná než organická rozpouštědla.

Organické mastné kyseliny se neutralizují a přejdou do lázně ve formě rozpustných mýdel. Povrchově aktivní mýdla následně snižují povrchové napětí na rozhraní lázeň-mastnota a tím příznivě ovlivňují rychlost a kvalitu odmašťování. Odmaštění minerálních mastných nečistot, jako jsou nejrozličnější oleje, vosky a vazelíny, je komplikovanější. Tyto mastnoty se totiž

nezemýdelňují a proto je potřeba vyšších teplot, za kterých se emulgují do odmašťovadla ve formě drobných kapiček. Postupná emulgace mastnoty je vidět na obrázku 7.



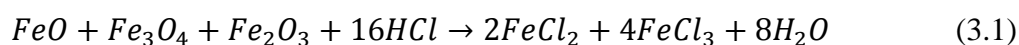
Obr. 7: Schéma emulgace mastnoty (I - souvislá vrstva mastnoty, II - rozrušování vrstvy roztokem, III - emulgace a disperze mastnoty) [5]

Alkalická rozpouštědla obsahují celou řadu látek, mezi něž například patří hydroxidy, uhličitany a fosforečnany spolu s povrchově aktivními látkami a emulgátory. Účinnost odmašťování závisí na celé řadě faktorů. Důležitý je způsob aplikace (aplikace ponorem nebo postřikem). V případě ponoru je výsledek ovlivněný správným způsobem míchání lázně. Mezi další faktory patří vhodná hodnota pH rozpouštědla, míra a druh znečištění povrchu, teplota a doba aplikace. U ponorného čištění se teplota pohybuje v rozmezí 60-80°C a doba ponoru je 5-10 minut.

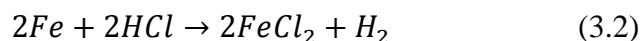
3.2 Moření [3], [5], [6], [15]

Moření se obecně nazývá proces, při kterém jsou chemicky odstraněny nečistoty vázané na povrch součásti chemickými vazbami. Typickým zástupcem těchto nečistot hydratované oxidy (rez) a okuje. Působením silných kyselin, dochází k jejich chemické reakci za vzniku rozpustných solí. Nejčastěji se ocel moří v lázni tvořené kyselinou sírovou nebo kyselinou chlorovodíkovou. V případě legovaných ocelí jsou v okujích obsaženy také oxidy legujících prvků (např. oxid chromitý), které jsou v uvedených kyselinách, proto se nahrazují směsí kyselin (např. $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$) případně alkalickými roztoky.

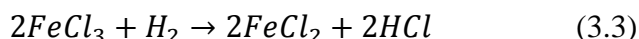
Moření odstraňuje korozní produkty dvěma spolu souvisejícími, avšak zcela rozdílnými mechanismy. První z nich je čistě chemické rozpouštění oxidů. U kyseliny chlorovodíkové probíhají chemické reakce dle následujících rovnic:



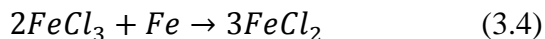
Povrch oceli reaguje za vývinu vodíku:



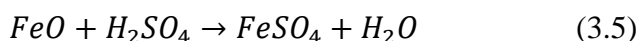
Vyvíjený vodík dále redukuje FeCl_3 :



FeCl_3 reaguje také s ocelí:



Obdobně reaguje také kyselina sírová:



Stejně tak dochází k vyvíjení vodíku:



Kyselina chlorovodíková. Druhý mechanismus odstraňování oxidů z povrchu je přímo závislý na vývoji vodíku. Mořicí lázeň proniká přes defekty skrz korozní vrstvu, kde reaguje se základním materiálem za vzniku vodíku. Vodík vzniká v malých dutinách ve formě bublinek. Jejich rostoucí tlak má za následek mechanické odlamování šupinek okují. Vzhledem k vyššímu vývoji vodíku má tento mechanismus větší vliv u lázní tvořených kyselinou sírovou oproti lázním z kyseliny chlorovodíkové.

Tento mechanismus má však i neopomenutelnou stinnou stránku. Vývoj vodíků má za následek nejen mechanické odlamování korozní vrstvy, ale také proniká do samotného základního materiálu. Vyšší tlak vodíku před uvolněním oxidické vrstvy způsobuje také vyšší míru jeho rozpouštění v krystalové mřížce železa, kde způsobuje tzv. vodíkovou křehkost. Opět platí, že díky vyššímu vývinu vodíku v lázních z kyseliny sírové je zde také tento problém markantnější.

Čas moření oceli je ovlivněn především koncentrací kyselin v lázni, teplotou, promícháváním lázně a také množstvím hematitu (Fe_2O_3) v okujích. Hematit je totiž z přítomných železných oxidů rozpouštěn nejpomaleji.

Kyselina sírová dosahuje maximální rychlosti moření v koncentraci 25% a to za zvýšených teplot (40-70%). V takovém případě se doba moření většinou pohybuje v rozmezí 10-30 minut. Je poměrně levná, má nízké exhalace do okolí. Také má nízkou spotřebu, protože většina okujů není rozpuštěna, ale zůstává v lázni jako kal, nedochází tedy k jejímu chemickému znehodnocení. Nevýhodou této kyseliny je její napadání oceli za vývinu vodíku, čímž vzniká riziko vodíkové křehkosti. Kyselina chlorovodíková se používá za normálních teplot v koncentracích 10-20%, přičemž horní hranice koncentrace se obvykle nepřekračuje, protože by docházelo k příliš velké exhalaci chlorovodíku do okolí. Její výhody jsou hlavně rychlejší, rovnoměrnější a účinnější rozpouštění oxidů než kyselina sírová. Také rozpouštění oceli a vývoj vodíku je pomalejší a je zde také nižší riziko navodíkování povrchu součásti. Nevýhody jsou hlavně vyšší spotřeba samotné kyseliny a větší exhalace oproti kyselině sírové.

3.3 Elektrolytické odmaštění [5], [6], [15]

Dalším stupněm přípravy povrchu na zinkování je elektrolytické odmaštění. Tato metoda zajišťuje nejkvalitnější odmaštění, proto je zařazována až na závěr (je obvykle následována ještě dekapováním) před samotné galvanické zinkování. Jedná se v podstatě o alkalické odmaštění za přítomnosti elektrického proudu. Lázeň má stejně fyzikálně chemické působení na nečistoty jako klasické alkalické odmaštění, navíc ale zásluhou přítomnosti stejnosměrného proudu dochází k disociaci látek v roztoku. Na katodě se vylučuje vodík a alkalický kov, který okamžitě reaguje s vodou za vzniku alkalického hydroxidu. Nejúčinnější způsob odmaštění je

zapojení součásti jako katody, protože účinky lázně jsou zvýšeny mechanickým účinkem vodíkových bublinek a zvýšenou koncentrací hydroxidu v okolí katody. Nejúčinnější je tzv. reverzační zapojení, kdy dochází ke střídání zapojení dílu ve smyslu katoda-anoda. Katodické zapojení má být delší než anodické a samotný proces by měl končit anodickým zapojením. Provozní teplota se obvykle pohybuje okolo 55°C.

3.4 Dekapování [6], [15]

Dekapováním označujeme tzv. aktivaci povrchu. Je to v principu zvláštní druh moření, při kterém se z povrchu součásti odstraňuje tenká oxidická vrstva vzniklá při předchozích operacích (například působením kyslíku při elektrolytickém odmašťování v anodickém zapojení). V případě vynechání této operace dochází u galvanicky vyloučeného zinkového povlaku ke snížení jeho kvality. Samotná lázeň pro ocel je obvykle 8% roztok kyseliny chlorovodíkové, která se aplikuje po dobu 3 minut.

Bezprostředně po dekapování následuje samotné galvanické zinkování součásti. Probíhající fyzikální pochody a typy lázní jsou rozebrány v kapitole (1.4), respektive (2.2).

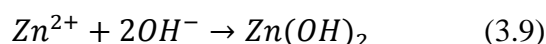
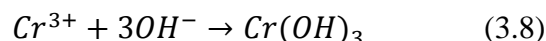
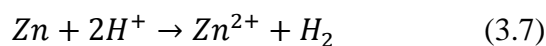
3.5 Pasivace [6], [15]

Výsledkem galvanické lázně je povlak surového zinku. Ten má matnou a šedivou barvu, navíc u něj prakticky okamžitě dochází k atmosférické korozi za vzniku zinkových korozních zplodin (tzv. bílá koroze). Tomu se zabráňuje dalšími technologickými procesy, konkrétně vyjasňováním a pasivací zinkového povlaku.

Při vyjasňování se právě nazinkované díly se vzhledovými vadami krátce ponoří do velice zředěné kyseliny dusičné. Roztok kyseliny mívá koncentraci okolo 1%. Díky tomu se povrch lehce naleptá a vznikne tím lesklý povrch stříbřitého vzhledu.

Následuje proces pasivace povrchu, občas také označovaný jako chromátování. Termín chromátování má historický základ, neboť v minulosti se pro pasivaci používal výhradně šestimocný chrom (odtud výraz chromátování). Vzhledem ke karcinogenním (a celkově negativním) účinkům šestimocného chromu na organismus a jeho omezení na základě RoHS se postupně vyvinuly pasivační roztoky, jejichž hlavní složkou je trojmocný chrom. Proto je dnes vhodnější užívat termínu pasivace.

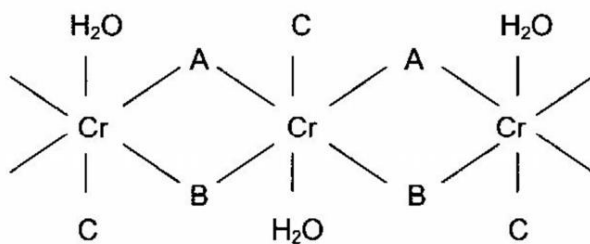
Při pasivaci dochází k vylučování ochranné vrstvy hydroxysloučenin trojmocného chromu a zinku, který dále zvyšuje korozní odolnost povlaku. Děje probíhající na povrchu lze zjednodušeně zapsat rovnicemi (3.7) až (3.9):



Pasivační roztoky sice obvykle jsou kyselé, z rovnice (3.7) ale plyne, že v bezprostřední blízkosti pasivovaného zinkového povlaku dochází ke spotřebovávání vodíkových kationtů. To má za následek zásaditý charakter lázně v těsném okolí zinkové vrstvy, což umožní proběhnutí reakcí dle rovnic (3.8) a (3.9).

I když z rovnic (3.8), (3.9) vyplývá, že pasivační vrstva je tvořena jednoduchými hydroxidy chromu a zinku, ve skutečnosti tomu tak. Je třeba mít na paměti, že u výše uvedených rovnic

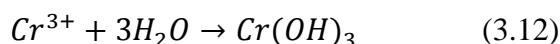
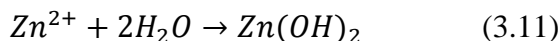
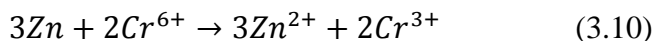
jsme se dopustily značného zjednodušení. Výslednou pasivační vrstvu tvoří amorfnní skelet, jehož schematické znázornění je na obrázku 8.



$A = \text{HSO}_4^-, \text{HCrO}_4^-$; $B = \text{OH}^-, \text{NO}_3^-, \text{Cl}^-$; $C = \text{H}_2\text{O}, \text{F}^-, B \text{ nebo } A$

Obr. 8: Schéma amorfnního skeletu pasivační vrstvy [15]

Rozdíl mezi chromátováním s užitím šestimocného chromu („žlutý chromát“) a pasivací s trojmocným chromem („modrý chromát“) je zabudování šestimocného chromu do výše zmíněné struktury. Ta je téměř stejná pro oba typy. Toto zabudování propůjčuje chromátovanému povlaku žlutou barvu (odtud označení „žlutý chromát“), jednak jeho samohojivý efekt (samovolné opětovné nachromátování poškozeného povlaku). Principem této vlastnosti je reakce šestimocného chromu se zinkem za přítomnosti vody (ta se v chromátové vrstvě přítomna i po vysušení), dle rovnic (3.10) až (3.12):



Pasivačních, respektive chromátových povlaků existuje celé řada a obecně je lze rozdělit podle dvou kritérií. Prvním kritériem je barva chromátové vrstvy:

- bezbarvá,
- světle modrá,
- žlutá,
- olivově zelená,
- černá,
- světle zelená.

Barva pasivační vrstvy je ovlivněna především jejím chemickým složením. Například barva černého chromátu je způsobena koloidně rozptýleným stříbrem oxidem stříbrným v gelovitém povlaku žlutého chromátu. S chemickým složením a strukturou také souvisí schopnost korozní ochrany. Druhým kritériem je druh přítomného chromu:

- šestimocný chrom
- trojmocný chrom.

V následující tabulce 3.1 jsou uvedeny obvykle vylučované tloušťky pasivační vrstvy a obsah šestimocného chromu. V tabulce 3.2 jsou uvedeny korozní odolnosti do vzniku bílé koroze.

Tabulka 3.1 Tloušťka chromátové vrstvy a množství Cr(IV) na jednotku plochy [15]

| Typ chromátu | Tloušťka vrstvy [μm] | Obsah Cr(VI) [mg/m^2] |
|---------------|-----------------------------------|---|
| Transparentní | 0,01-0,03 | Neuvedeno |
| Modrý | 0,03-0,08 | 10-30 |
| Žlutý | 0,25-0,50 | 80-220 |
| Olivový | 1,0-1,5 | 300-400 |
| Černý | 0,25-1,0 | 100-400 |

Tabulka 3.2 Korozní odolnost chromátů do bílé koroze [1]

| Kód chromátu | Počet hodin do koroze | |
|--------------|-----------------------|--------------------|
| | Hromadné zinkování | Závěsové zinkování |
| A | 8 | 16 |
| B | 8 | 16 |
| C | 72 | 96 |
| D | 72 | 96 |
| F | 24 | 48 |

A – transparentní, světle modrý chromát

B – odbarvený chromát

C – žlutý chromát

D – olivově zelený chromát

F – černý chromát

3.6 Lakování [8], [15]

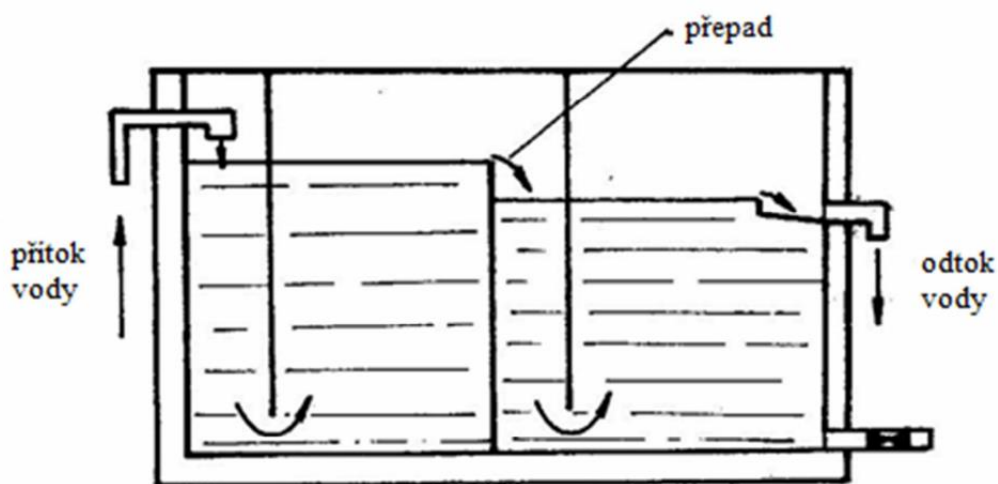
Jako finální povrchová úprava se po pasivaci často volí lakování. Lak má zaprvé za úkol utěsnit zinkový povlak i s pasivací a tím bránit pronikání korozního prostředí k povrchu povlaku a zadruhé vytváří hydrofobní vrstvu, čímž zabraňuje smáčení vodou. Lak je obvykle vodou ředitelný, přičemž v průběhu sušení (proud horkého vzduchu, jeho teplota závisí na použitém typu laku) se lak dehydratuje za vzniku zesíťované struktury, která již není vodou rozpustná. Po aplikaci laku už nenásleduje oplach, pouze sušení.

3.7 Oplachy [5], [6], [15]

Mezi jednotlivými operacemi je nezbytně nutné provést dokonalý oplach zbytků lázní z povrchu součástí (výjimkou je lakování, po kterém se už oplach neprovádí). Pokud nedojde k dokonalému oplachu, bude docházet ke zrychlenému znehodnocování jednotlivých lázní a následné snížení jakosti vyloučeného ochranného povlaku. Oplachy se může provádět několika způsoby. První je oplach postřikem, který je velmi nevhodný, neboť spotřebuje

velké množství vody. Další způsob je oplach ve vaně s občasnou výměnou vody. Tento způsob je také nevhodný, voda je vynášenou lázní brzy znehodnocena.

Oplach ve vaně s jednoduchou výměnou vody se již používá častěji, oplach ve vaně s protiproudovou výměnou vody je však ještě hospodárnější a proto také nejužívanější. V tomto případě je oplachová vana dvoustupňová s rozdílnou výškou hladin a přepadem. Oplachované součásti se napřed ponoří do části vany s nižší hodnotou hladiny, kde je voda s vyšší koncentrací lázně předcházející oplachu, poté pokračuje do části s vyšší hladinou, kde je voda mnohem méně znečištěná. Schématický náčrt oplachové vany s protiproudem je na obrázku 9.



Obrázek 9: Schéma oplachové vany s protiproudem [5]

3.8 Konstrukce povlakovaných součástí a její vliv na defekty [6], [13], [15]

Při konstruování součástí určených pro galvanické zinkování je třeba mít na paměti, že proces probíhá ve vodných roztocích ponorem, je tedy nezbytně nutné umožnit oplach součástí. Pokud předmět má dutiny, je potřeba zajistit možnost úniku lázně, respektive vzduchu a plynů z těchto dutin. Pokud při závěsném zinkování je dutina otevřena směrem vzhůru, dochází k významnému vynášení lázně z jednotlivých van a následnou kontaminaci lázní následujících. To nejenže má velice nepříznivý vliv na hospodárnost celého procesu, protože se musí často měnit jednotlivé lázně, ale také dochází k výraznému zhoršení kvality výsledného povlaku.

Pokud je dutina otevřena směrem dolů, zůstane v ní vzduchová kapsa a to způsobí, že povlak nebude v dané oblasti vyloučen. V ideálním případě konstruktér přistoupí k takovým konstrukčním řešením, které tyto problémy eliminují. V opačném případě je nutný zdoluhavý ruční zásah obsluhy automatické zinkovací linky u každé z van, což mnohonásobně prodražuje celý proces. Dalším problémem jsou kapilární štěrby v součástech. V lázních se do nich dostává elektrolyt, který později začne vytékat a způsobí korozi v okolí této štěrby. Stejně tak po sušení v nich zůstávají zbytky solí, které dále urychlují korozi. U tohoto typu konstrukčního problému nepomůže ani zásah obsluhy. Štěrby je třeba utěsnit ještě před začátkem samotného procesu zinkování, například jejich zavařením.

3.9 Automatizované zinkování [5], [6]

Samostatnou kapitolou je způsob přepravy součástí mezi jednotlivými lázněmi a jejich způsob kontaktu s „katodou svorkou“. V průmyslovém měřítku nemá smysl ruční výroba z důvodů své nízké výkonosti a vysoké ceně finálního produktu, proto se běžně používají automatické zinkovací linky. V těchto provozech se zajišťuje přeprava zinkovaných součástí mezi jednotlivými lázněmi pomocí závěsů a závěsných rámu nebo bubnů.

3.9.1 Závěsy a rámy [5], [6]

Závěsy mají v první řadě za úkol zajistit kontakt a přenos katodového proudu na součást. Musí být vodivé a zajistit minimální přechodový odpor. Samotný kontakt zajišťuje buď váha předmětu, nebo je k rámu přitlačován pružným deformačním prvkem (např. pružinou). Dále musí být schopny přenášet tyto součásti z lázně do lázně, musí tedy mít odpovídající pevnost a tuhost. Způsob zavěšení (a tím poloha součástí vůči anodě) je důležitým kritériem pro rovnoměrné vyloučení povlaku.

V některých případech je nutné zapojovat pomocné anody (např. pro dutiny, které by kvůli nízké proudové hustotě nebyli dostatečně nazinkovány), v jiných případech je potřeba zapojit pomocné katody, aby na výčnělcích byla snížena proudová hustota. Příliš vysoká proudová hustota by měla za následek příliš silný povlak nepříliš dobré kvality.

Galvanovny často užívají místo samostatných závěsů univerzální závěsné rámy, do kterých se upínají konkrétní přípravky (závěsy) pro jednotlivé druhy povlakovaného zboží. Tyto rámy se mohou potáhnout vrstvou plastu nebo pryže, která omezuje kontakt vodivého rámu s elektrolytem. Tím se zamezuje zbytečným ztrátám proudové hustoty, rámy déle vydrží provoz v agresivních lázních a provoz je tak ekonomičtější.

3.9.2 Galvanické bubny [5], [6]

Ne všechny strojní součásti se hodí pro závěsné zinkování. Velké množství malých součástek nemá z ekonomického hlediska smysl povlakovat na závěsech. V takovém případě se s úspěchem užívá metoda hromadného zinkování v galvanických bubnech nebo zvonech. Nejčastěji se používají právě bubny, jelikož je lze oproti zvonům přenášet mezi jednotlivé lázně podobně jako závěsy (bubny ale obvykle mívají své vlastní vany uzpůsobené jejich rozměrům), čímž je dosaženo ekonomičtějšího provozu.

Princip spočívá v naplnění vodivého bubnu větším množstvím malých součástí. Buben se ponoří do lázně a za stálého otáčení se na něj přivede katodický proud. Kontaktem mezi povrchem bubnu a součástmi uvnitř dochází k přenosu tohoto proudu (a následně ze součástí na součást).

ZÁVĚRY

Galvanické zinkování je zavedená, avšak stále se vyvíjející technologie protikorozní úpravy povrchu s výbornými užitnými vlastnostmi. V dnešním světě má své nezastupitelné místo a s výhodou se užívá především v automobilovém průmyslu, ale i v mnoha dalších průmyslových odvětvích.

Galvanické zinkování nabízí mnoho možných způsobů a technologií získání finálního zinkového povlaku, přičemž každý postup má mnohé výhody stejně tak jako nezanedbatelné nevýhody. Pro volbu optimální technologie předúpravy, lázně a finálních úprav je třeba se velice dobře orientovat v celé oblasti galvanického zinkování a galvanotechniky. Jen tak lze dosáhnout skutečně hospodárného provozu a přitom zajistit kvalitní protikorozní ochranu.

Výstup bakalářské práce by měl sloužit jako výtah nejdůležitějších pojmů galvanického zinkování a velmi stručný náhled do problematiky celé oblasti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČSN EN ISO 2081. *Kovové a jiné anorganické povlaky: Elektrolyticky vyloučené povlaky zinku s dodatečnou úpravou na železe nebo oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, květen 2009.
2. HEŘMAN, Josef. Vývoj názorů na podstatu elektřiny. *ELEKTRO: časopis pro elektrotechniku* [online]. 2005, roč. 2005, č. 06 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26361
3. JANDA, Tomáš. *Analýza zařízení pro galvanizovny* [online]. Brno, 2009 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/8799/2009_BP_Janda_Tom%C3%A1%C5%A1_101050.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Vysoké učení technické, fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubiček.
4. KMICHNA, Štefan a Iva NOVÁ. *Technologie a zpracování kovových materiálů*. Prešov: ADIN, 2008. ISBN 978-80-89244-38.
5. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. ISBN 80-708-2668-1.
6. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. ISBN 80-707-8267-6.
7. OKURKA, David. *Vliv povrchových úprav na kvalitu tvářeného dílce* [online]. Brno, 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/3586/BAKAL%C3%81%C5%98SK%C3%81%20PR%C3%81CE_DAVID%20OKURKA.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Martin Hušek.
8. OSTROJ A.S. *Ostroj a.s.: Galvanovna* [online]. © 2012 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/galvanovna>
9. POMETLO, Stanislav. *Technologie žárového zinkování* [online]. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního i [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/5665/2012_BP_Pometlo_Stanislav_126293.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Kateřina Muralová.
10. PRVNÍ PLZEŇSKÁ GALVANOVNA. *Galvanické zinkování - První plzeňská galvanovna s.r.o.* [online]. © 2008 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.galvanovna.cz/techcz.html>

11. USTĚJOVSKÝ, Daniel. Galvanické zinkování v kyselých lázních. In: *Studentka* [online]. 2007-12-13 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z:
http://studentka.sms.cz/index.php?P_id_kategorie=7630&P_soubor=%2Fstudent%2Findex.php%3Fakce%3Dprehled%26ptyp%3D%26cat%3D89%26idp%3D%26detail%3D1%26id%3D4024%26view%3D1%26url_back%3D
12. TRČKA, Josef a Jaroslav FIALA. Přílnavost galvanicky vyloučených povlaků a její ovlivnění teplotou. In: *METAL 2003* [online]. Hradec nad Moravicí, 2003 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z:
http://www.metal2014.com/files/proceedings/metal_03/papers/93.pdf
13. VYŠOHLÍD, Vladimír a Viktor KREIBICH. Zinkové povlaky v lakovnách. *MM: Průmyslové spektrum*. 2004, č. 10, s. 38. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/zinkove-povlaky-v-lakovnach.html>
14. Welding Galvanized Steel: Safely. In: [online]. Sperko Engineering Services, 1999 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z:
<http://www.sperkoengineering.com/html/articles/WeldingGalvanized.pdf>
15. ZDAŘIL, Lubor. *Zinkové povlaky* [online]. Brno, 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z:
<https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/2050/bakalarka%20zdaril%201.pdf?sequence=1>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta chemická. Vedoucí práce Ing. Matrin Zmrzlý, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Označení | Legenda | Jednotka |
|-----------------|--|---------------------------------|
| A_e | konstanta úměrnosti | $[g \cdot A^{-1} \cdot s^{-1}]$ |
| c | plocha pokovení | $[mm^2]$ |
| E_r | rozkladné napětí | $[V]$ |
| E_s | svorkové napětí | $[V]$ |
| F | Faradayova konstanta | $[C \cdot mol^{-1}]$ |
| h | tloušťka povlaku | $[mm]$ |
| I | elektrický proud | $[A]$ |
| I_k | proudová hustota | $[A/dm^2]$ |
| m | množství látek vyloučených vlivem elektrického proudu | $[g]$ |
| M | molární hmotnost kovů | $[g \cdot mol^{-1}]$ |
| m_{skut} | množství skutečně vyloučeného, respektive rozpuštěného kovu | $[g]$ |
| $m_{teor.}$ | množství vyloučeného, respektive rozpuštěného kovu vypočtené z Faradayova zákona | $[g]$ |
| n | mocnoství kovového kationtu v lázni | $[-]$ |
| R | ohmický odpor lázně | $[\Omega]$ |
| R_a | střední aritmetická hodnota drsnosti | $[\mu m]$ |
| $r_{kat./anod}$ | katodický, respektive anodický proudový výtěžek | $[\%]$ |
| x | vzdálenost od kraje katody | $[mm]$ |
| ρ | hustota vylučovaného kovu | $[g \cdot mm^{-3}]$ |
| τ | čas | $[s]$ |
| RoHS | nařízení o zákazu používání nebezpečných látek | |

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 10: Žlutý chromát na zinkovém povlaku [8]

Obr. 11: Korozní mapa České republiky pro zinek [15]

Obr. 12: Závislost proudové hustoty, viskozity a koncentrace iontů na rychlosti tvoření krystalových zárodků [6]

Obr. 13: Schéma elektrokrytlizace [6]

Obr. 14: Hulova cela [15]

Obr. 15: Zinkovací linka, OSTROJ a.s. [8]

Obr. 16: Schéma emulgace mastnoty [5]

Obr. 17: Schéma amorfního skeletu pasivační vrstvy [15]

Tabulka 2.1: Standardní elektrodové potenciály vybraných kovů [6]

Tabulka 3.1: Tloušťka chromátové vrstvy a množství Cr(IV) na jednotku plochy [15]

Tabulka 3.2: Korozní odolnost chromátů do bílé koroze [1]